

LOS SISTEMAS EXTERNOS DE REPRESENTACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO EN EL AULA UNIVERSITARIA

María Gabriela Lorenzo
Universidad de Buenos Aires-CONICET

RESUMEN: Este trabajo invita a reflexionar sobre ciertos rasgos de la educación universitaria particularmente en carreras de formación de profesionales vinculados a las ciencias naturales (farmacia, biotecnología, bioquímica), que interpelan tanto los aprendizajes de los estudiantes como la formación pedagógica de sus profesores. El foco se centrará en un tema transversal característico de este campo de conocimiento y que forma parte de lo que se conoce como lenguaje científico: las representaciones externas. Se presentan algunos resultados de investigaciones obtenidos sobre su uso y las dificultades de aprendizaje que involucran sistemas externos de representación en clases universitarias de ciencias.

PALABRAS CLAVE: representaciones externas, enseñanza universitaria, investigación en didáctica de las ciencias, formación del docente universitario, aprendizaje de las ciencias.

OBJETIVOS. Las prácticas educativas de nivel universitario en carreras de ciencias naturales, cuyos planes de estudio incluyen asignaturas del campo de la química, la física y la biología en sus currícula, han sido incorporadas recientemente como objeto de estudio para la investigación en didáctica de las ciencias. Sus propósitos se orientan a la comprensión de las dificultades de aprendizaje y consecuentemente, al diseño de nuevas estrategias de intervención.

Los objetivos de este artículo son:

- Describir el escenario contemporáneo donde se desarrollan las prácticas de enseñanza y de aprendizaje de las ciencias en el nivel universitario.
- Presentar y debatir aportes derivados de la investigación sobre los sistemas externos de representación en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en la universidad.

En definitiva, se intentará mostrar a las prácticas educativas de nivel universitario como un sistema complejo en la que interactúan numerosas variables; y que por tanto, requieren de una didáctica de las ciencias específicas de nivel superior. Esperamos contribuir a la reflexión colectiva y al desarrollo de las investigaciones didácticas en este particular dominio de conocimiento.

LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EN LA UNIVERSIDAD HOY

A pesar de los grandes cambios culturales que impregnan las sociedades de nuestro tiempo, las universidades se resisten en un intento de conservar sus tradiciones más arraigadas. No obstante, las transformaciones sociales han comenzado a permear la realidad universitaria y han infiltrado sus clases, fundamentalmente de la mano de dos agentes de cambio: por un lado, los estudiantes, con nuevos perfiles y nuevos modos de concebir el mundo; y por otro, las nuevas formas de comunicación que nos conceden las tecnologías. Entonces, si bien a la universidad se le hace difícil encontrar estrategias para lograr una enseñanza masiva, inclusiva y de calidad, han comenzado a darse los primeros pasos para afrontar esta problemática. Esto ha propiciado, que la investigación en didáctica de las ciencias en el nivel superior haya comenzado a cobrar no sólo sentido, sino fundamentalmente mayor relevancia en el contexto de las políticas de investigación en las universidades y otros organismos de ciencia y tecnología. Es así que el nivel universitario en sí mismo se ha convertido en un campo que requiere incrementar los conocimientos sobre su propia naturaleza, desarrollo y desempeño; y también, la de los sujetos que allí participan y de las diversas interacciones que allí se establecen.

En síntesis, la universidad es una institución que debe afrontar los desafíos de una nueva cultura de aprendizaje, la crisis de sus diseños curriculares, la incertidumbre sobre las incumbencias profesionales y a un cuerpo de docentes con escasa o nula preparación para hacerle frente a todos estos desafíos. Esto interpela a toda la comunidad educativa sobre la calidad de la formación universitaria correspondiente a una determinada carrera o profesión. En este caso, se alude a carreras como la Bioquímica, la Farmacia y la Biotecnología, que es el ámbito en el que se desarrollan nuestras investigaciones.

Los sistemas externos de representación como contenidos esenciales de las ciencias

La investigación en didáctica de las ciencias en el nivel superior constituye un recorte particular del objeto educativo, que si bien comparte puntos de vista y metodologías con otros niveles educativos requiere desplegar sus propias particularidades. Una de ellas corresponde a la singularidad de los contenidos. La enseñanza de la química, la física y la biología en carreras universitarias se basa en la especificidad de los contenidos que abarca en su mayoría alejados de la vida cotidiana y caracterizados por poseer elevados niveles de abstracción y de complejidad.

Una de las características idiosincrásica de las ciencias es el uso recurrente de sistemas externos de representación (Pérez-Echeverría, Martí & Pozo, 2010). Éstos son instrumentos cognitivos constituidos por un conjunto de signos y ciertas reglas o códigos de composición, que realizan una mediación semiótica entre un objeto o fenómeno del mundo “real” y nuestras posibilidades de interpretar, conocer, reinterpretar, redescubrir y transformar ese mundo. Su capacidad para hacer disponible, a nuestras necesidades, lo que ya no está, es una de las razones que le confieren su gran versatilidad en el ámbito de la ciencia (Lorenzo, & Pozo, 2010).

Si se analizan estas representaciones externas desde su nivel de formalización, se tendrían a grandes rasgos, por un lado, las imágenes visuales o representaciones pictóricas (Ortega, 2002); y por otro, el lenguaje y las notaciones matemáticas, estos últimos cargados de un simbolismo y sistematicidad inquestionables. Sin embargo, no todas las imágenes “funcionan” de la misma manera. Mientras en el arte, sin importar su grado de iconicidad o de abstracción, la imagen puede ser interpretada de manera libre y subjetiva por el espectador; en ciencias, las imágenes deben ser leídas atendiendo al modelo teórico que las sustenta. Hacemos esta aclaración porque en este trabajo se eludirán las representaciones artísticas, el lenguaje y las notaciones matemáticas, para centrarse en aquellas que son específicas de las ciencias, ya que poseen múltiples y variados sistemas representacionales (Gilbert & Treagust, 2009).

La manipulación intelectual de estos sistemas de representación, como elementos de información gráfica, permiten la construcción de nuevo conocimiento a través de un desarrollo dialéctico entre la representación externa y el sujeto. En el caso de un investigador, podría construirse un nuevo conocimiento para el campo, mientras que en el caso de un estudiante se trataría de un nuevo conocimiento vinculado a su aprendizaje. El procesamiento de la información gráfica puede ocurrir en tres niveles (Postigo y Pozo, 2000): el más superficial, es el que corresponde a aquellos aspectos incluidos explícitamente en la representación; el de la información implícita, que requiere reconocer interrelaciones subyacentes entre los elementos presentes en la representación; y por último, un nivel conceptual, que tomando como base a los anteriores trasciende la información explícita e implícita presentada y reclama otros conocimientos disponibles para lograr comprender en sentido amplio el objeto o fenómeno al que refiere la representación. En definitiva, estos sistemas representacionales externos pueden convertirse en verdaderos obstáculos para el aprendizaje de las ciencias en la universidad porque no se le dedica suficiente tiempo a la enseñanza del sistema de códigos que permiten su interpretación (a veces las reglas quedan implícitas) y porque su lectura y su producción requieren diferentes procesos cognitivos.

Desde esta perspectiva, se intenta hacer opacos aquellos elementos de la ciencia que suelen permanecer transparentes durante las clases (Weininger, 1998), para estudiar las dificultades que se presentan en *la co-construcción de conocimiento científico en ciencias en contextos de interacción entre profesores y estudiantes universitarios*. Para ello, se ha adoptado uno de los modelos más extendidos para abordar la problemática de la enseñanza y el aprendizaje de la química, el ya clásico triángulo de Johnstone (1982, 1993) que no sólo ha persistido a lo largo de varias décadas, sino que se ha extendido con más o menos transposiciones a otros dominios de conocimiento (Tsui & Treagust, 2013). Según Johnstone, las ciencias podrían ser entendidas como constituidas por tres niveles de representación que refieren a tres aspectos de la química, y que inicialmente denominó *macroscópico*, *submicroscópico* y *simbólico*. Sin ahondar en la descripción de cada uno ni en las discusiones que se derivaron de esta propuesta, interesa resaltar aquí, que desde nuestro punto de vista, dichos niveles no deben ser entendidos como entidades discretas sino como extremos de un continuo. Por contraposición al nivel simbólico, la línea que uno los niveles macro y submicroscópico, corresponderían al plano ontológico, una dada realidad material cuya existencia es admitida como cierta o altamente probable (esto se torna discutible al adentrarse en los terrenos de la filosofía, pero no es el caso que aquí se plantea). Tomando como base estas ideas se podría admitir que para cada “tamaño” de esa realidad, sería factible que existiera cierto signo perteneciente al nivel simbólico que remitiera a ella.

Si se extiende la aplicación de estas ideas derivadas del modelo de Johnstone a otras ciencias, debería reconocerse que toda representación externa en ciencias tiene carácter simbólico y constituyen además, verdaderos sistemas, dado que resulta impensable una representación que pudiera interpretarse libremente o de manera subjetiva (como ocurriría en el caso de las representaciones artísticas).

A continuación se presentan algunos de nuestros resultados obtenidos a través de diferentes líneas de investigación complementarias que involucran a estos sistemas.

INVESTIGACIONES Y MÉTODOS

El estudio del aprendizaje de las ciencias y de las dificultades que se les presentan a los estudiantes al hacerlo, incluye analogías, gráficos, imágenes, fórmulas, esquemas, propios de la asignatura o de la temática en cuestión. Dicho en otras palabras: un modelo atómico, un esquema del sistema circulatorio o la variación de volumen respecto de la temperatura para un gas ideal, se presentan tanto en las explicaciones como en las tareas que se les solicita a los estudiantes como sistemas de representación externa.

Como parte de una investigación más extensa, se ha abordado esta problemática en dos universidades nacionales argentinas: la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires y la Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Litoral.

La metodología empleada incluye el diseño de cuestionarios con preguntas abiertas y cerradas y tareas de lápiz y papel, a ser respondidas por los estudiantes en sus escenarios de actuación habituales (grupos de clase completos, instancias de evaluación). Sus respuestas y producciones constituyen el corpus de datos a ser analizado atendiendo a los modelos teóricos propuestos y respetando siempre la naturaleza del contenido disciplinar. Es decir, para definir si una respuesta es correcta o no, se recurre al dominio de conocimiento; mientras que, para analizar su contenido y sus errores, se recurre a los modelos pedagógico-didácticos antes expuestos.

Algunos resultados obtenidos

Un estudio llevado adelante con 91 estudiantes de un primer curso universitario de química orgánica (Farré, Zugbi y Lorenzo, 2014) mostró que ante preguntas de tipo abierto, los alumnos utilizan de *motu proprio* las fórmulas químicas como amplificadores cognitivos, como recurso para responder a la tarea. Sin embargo, se detectaron limitaciones a la hora de plantear correspondencia entre el nivel simbólico (fórmula) y su referente en el nivel submicroscópico (Fig. 1). Los datos mostraron que el procesamiento de las fórmulas químicas era realizado mayormente a niveles explícito e implícito, aunque seguía resultando incompleto el procesamiento a nivel conceptual.

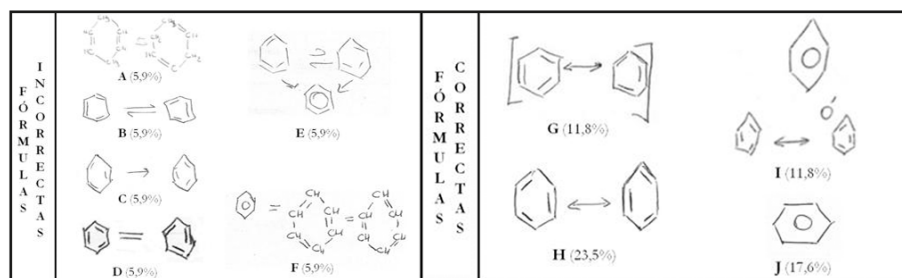


Fig. 1 Imágenes escaneadas de las fórmulas respondidas por los estudiantes para explicar el carácter resonante del benceno

De manera semejante, en otro estudio se analizaron las dificultades en el procesamiento de gráficos cartesianos (Fig. 2. Dcha) para 51 estudiantes de un curso universitario de física donde también se evidenciaron obstáculos de procesamiento en el nivel conceptual (Idoyaga & Lorenzo, 2016).

Estos resultados llevaron al cuestionamiento sobre los modos en que los expertos, investigadores y docentes, procesan la información contenida en las representaciones, los construyen, los modifican y los utilizan en diversos contextos. Siguiendo esta línea de pensamiento, se ha comenzado a trabajar con profesionales que se desempeñan como docentes universitarios en asignaturas propias de las carreras mencionadas anteriormente y se encuentran participando de un programa específico de formación en docencia universitaria.

En forma complementaria, se ha iniciado una línea de investigación sobre un tipo de representación diferente perteneciente al campo de la botánica, los herbarios (Fig. 2. Izq.) que exploran la relación entre un objeto material completo (una planta) y su desmaterialización y conversión en representación, ya no de sí misma sino de un conjunto mucho más amplio de individuos (Lorenzo & Moya, 2016). En la misma línea, conectando lo macroscópico con lo simbólico, se abordan las representaciones propias del contexto del laboratorio de trabajos prácticos de química (Sánchez, 2015).

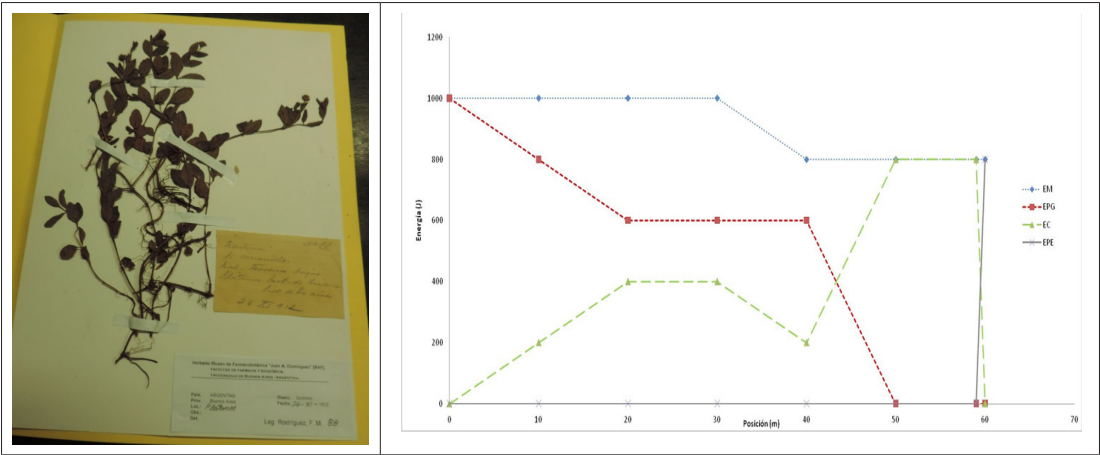


Fig. 2. Lámina de herbario (Izq.). Gráfico cartesiano (Dcha.)

Cada estudio individual fue brindando elementos sobre algunas cuestiones que resultan relevantes para entender las dificultades de aprendizaje de las ciencias, aún en el nivel universitario.

Tabla 1.

Los sistemas externos de representación como objetos de investigación

Referente	MUNDO MACROSCÓPICO	MUNDO SUBMICROSCÓPICO (MODÉLICO)	MUNDO ABSTRACTO
Objeto de investigación	Prácticas experimentales en el laboratorio de química Herbarios	Fórmulas químicas de compuestos orgánicos	Gráficos cartesianos en Física
Simbolicidad	+	+	+
Iconicidad	++	+	-
Abstracción	-	+	++
Sistematicidad	+	++	++

En la tabla 1 se resumen algunas características consideradas clave a la hora de abordar este tema. Primero, merece la pena insistir en la naturaleza simbólica de todas las representaciones usadas en la ciencia y su pertenencia a por lo menos un sistema normativo para su interpretación. Segundo, la naturaleza de los referentes no es unívoca y el salto, ya sea del nivel macroscópico o del submicroscópico al simbólico, está lejos de ser espontáneo. En el caso de los gráficos, parece ser necesaria una distinción adicional, dado que el gráfico puede referenciar un fenómeno sensible (del nivel macroscópico) como una explicación de nivel modélico (submicroscópico) presentada con un elevado grado de abstracción. Por último, quedan sombras sobre la relación entre la iconicidad, la abstracción y el contenido conceptual y complejidad de cada representación, que merecería ser indagado.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

A lo largo de este trabajo han sido presentados algunos de los temas que resultan de interés para la didáctica de las ciencias y también, algunas particularidades que son específicas para las prácticas educativas del nivel universitario. Si bien, el procesamiento en el nivel conceptual es imprescindible para que las fórmulas químicas, los gráficos o cualquier otra representación puedan ser utilizadas como

herramientas del pensamiento, para una gran parte de los estudiantes universitarios representan una sobrecarga para sus recursos cognitivos y no logran utilizarlos como verdaderos amplificadores dado que, las tareas con mayor demanda cognitiva requieren acciones epistémicas, que permitan redescubrir las representaciones de manera de facilitar su transferencia a nuevas situaciones. Lejos de agotar el problema, queda claro que nuestros resultados muestran que apenas ha sido atisbada la punta del iceberg y que la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en la formación universitaria tienen aún mucho por investigar y conocer.

Para incentivar la reflexión se enuncian además algunos de los supuestos en que parece basarse la enseñanza universitaria y que podrían convertirse en líneas potentes de investigación. Entre estos obstáculos o mitos de la enseñanza de las ciencias en la universidad podrían encontrarse los siguientes:

- Uno enseña todo lo que debe enseñarse en su asignatura.
- El trabajo que realiza el científico en su laboratorio de investigación, se transpone espontáneamente y mejora su desempeño docente.
- El contacto personal con el mundo sensible/fenomenológico conduce directamente a la comprensión y permite explicar dicho fenómeno.
- Las representaciones externas son fáciles de interpretar y además, aclaran y explican aquello que no puede decirse con palabras.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco de los Proyectos UBACYT N° 20020130100073BA (2014-2017) y CONICET-PIP N° 11220130100609CO (2014-2016).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FARRÉ, A., ZUGBI, S. & LORENZO, M. (2014). El significado de las fórmulas químicas para estudiantes universitarios. El lenguaje químico como instrumento para la construcción de conocimiento, *Educación Química*, 25 (1), 14-20.
- GILBERT, J. K. & TREAGUST, D. (Eds.) (2009). *Multiple Representations in chemical education*. Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- IDOYAGA, I. & LORENZO, G. (2016). La compleja apropiación de la información conceptual de los gráficos cartesianos en las aulas de física en la universidad. *Revista de Enseñanza de la Física*, 28, No. Extra, 279-286.
- JOHNSTONE, A. (1982). Macro- and micro-chemistry. *School Science Review*, 64, 377-379.
- (1993). The development of chemistry teaching. *Journal of Chemical Education*, 70, 701-705.
- LORENZO, M. G. & POZO, J. I. (2010). La representación gráfica de la estructura espacial de las moléculas: eligiendo entre múltiples sistemas de notación. *Cultura y Educación*, 22 (2), 231-246.
- LORENZO, M. G. & MOYA, N. (2016). Ver para aprender. Las imágenes en la construcción de conocimiento de ciencias naturales. En: *El cine en la documentación científica de la Universidad de Buenos Aires desde 1898*. Buenos Aires: EUDEBA (en prensa).
- ORTEGA, M. L. (2002). Imágenes, conocimiento y educación. Reflexiones desde la historia de la representación visual en las ciencias. *Tarbiya* 31, 11-38.
- PÉREZ-ECHEVERRÍA, M. P., MARTÍ, E. & POZO, J. I. (2010). Los sistemas externos de representación como herramientas de la mente. *Cultura y Educación*, 22 (2), 133-147.
- POSTIGO, Y. & POZO, J. I. (2000). Cuando una gráfica vale más que 1000 datos: la interpretación de gráficas por alumnos adolescentes. *Infancia y Aprendizaje*, 90, 89-100.

- SÁNCHEZ, G. H. (2015). La construcción del conocimiento científico en el nivel superior en clases prácticas y experimentales. Tesis doctoral en desarrollo.
- TSUI, C.-Y. & TREAGUST, D. F. (2013). Introduction to multiple representations: their importance in biology and Biological Education. In: D. Treagust & Tsui, C. (eds.), *Multiple Representations in Biological Education*, Models and Modeling in Science Education 7, DOI 10.1007/978-94-007-4192-8_1, Springer Science+Business Media B.V.
- WEININGER, S. J. (1998). Contemplating de finger: Visuality and the semiotics of chemistry. *HYLE, An International Journal for Philosophy of Chemistry*, 4 (1), 3-27.

